

УДК 535.36

В. Н. Баранов, вед. инж.,
А. Д. Купко, канд. техн. наук,
 Национальный научный центр
 «Институт метрологии»,
 e-mail: kupkoad@metrology.kharkov.ua;

С. В. Чирков, зам. директора,
В. И. Коваленко, вед. инж.,
 Государственное предприятие
 испытательный центр «Омега»,
 г. Севастополь,
 e-mail: kovalenko@stc-omega.biz

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ГОНИОМЕТРИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

В 1996 году был утвержден ДСТУ 3394-96 и принята соответствующая поверочная схема (1). Ветви периодических и импульсных измерений в ней нет. Однако настоятельная потребность в метрологическом обеспечении периодических и импульсных источников света существует. В настоящее время подавляющее большинство источников света использует переменное напряжение и поэтому имеет периодическую составляющую излучения. Периодическая составляющая вредна для здоровья человека и особенно для детей. Имеется понимание важности этого вопроса (2). Существуют нормы (3,4), регламентирующие измерение периодической составляющей освещения. Кроме того, выпускаются спасательные маячки и другие сигнальные средства, для контроля их соответствия нормативной документации зачастую необходимо измерять их силу света в зависимости от времени. Для таких объектов, как спасательные маячки необходимо знать распределение силы света в двух координатах и одновременно контролировать изменение световых характеристик с температурой. При использовании светодиодов длительности импульсов могут составлять сотые доли секунды. При таких импульсах определение силы света I по требованиям международных документов происходит с учетом постоянной Блонда-Рея.

$$I = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) dt}{(t_1 - t_2) + 0,2}$$

где $I(t)$ – сила света в каждый момент времени;

0,2 с – постоянная Блонда-Рея, характеризующая воздействие короткого одиночного импульса на человеческий глаз.

Для контроля качества пиротехнических изделий так же нужны подобные измерения. Отечественные приборы для измерения коэффициента пульсаций и регистрации импульсных процессов практически отсутствуют (5). Существует зарубежные приборы, но их крайне мало. Разработка метрологического обеспечения световых измерений импульсных и периодических источников света необходима для

обеспечения безопасности и здоровья многих людей. Ключевым вопросом при этом является наличие доступной аппаратуры для измерений периодических импульсных источников излучения.

Приемники, уже несколько десятилетий используемые для регистрации световых потоков зачастую имеют быстродействие 10^{-7} с и выше (6). Однако регистрация сигналов происходит приблизительно раз в секунду. Это связано как с желанием уменьшить шумы так и с временем реакции человеческого глаза. Наиболее распространенная частота пульсаций светового потока определяется частотой в сети переменного тока - 100 гц. Если интересны детали процесса, частота регистрации должна быть еще больше. Поэтому образом часть информации при измерении переменной освещенности информация теряется. Когда происходит регистрация постоянных уровней освещенности это не важно. Если темп обновления информации сигналов обеспечивает адекватную регистрацию, то человек за такое время в принципе не способен ее усвоить. Необходима математическая обработка. Современная элементная база электроники способна производить практически любую обработку с высокой скоростью. Однако разнообразие потребностей – иногда простое измерение коэффициента пульсаций, иногда исследование формы импульса, измерение скважности и частоты импульсов, возможно - вычисление корреляций приводит к необходимости использования сложных программ. Обычно при измерениях сигнал пропорционален освещенности или световому потоку в малом телесном угле, однако, существует множество световых величин (7). Измерения всех световых величин связаны друг с другом известными формулами – это также требует вычислений. С другой стороны уже произошло повсеместное распространение и использование персональных компьютеров (ПК) ноутбуков, нетбуков, которые стали необходимым элементом любой измерительной лаборатории. Поэтому для светотехнических измерений импульсных источников необходимо соответствующее программное обеспечение.

В связи с этим становится актуальным разработка приборов для световых измерений, связанных с ПК, и способных передавать измерения с темпом обновления информации обеспечивающим регистрацию переменных сигналов с частотой более 100 Гц.

В ИЦ «Омега» разработан и изготовлен измерительный стенд для испытаний импульсных источников света. Схема стенда предстала на рисунке 1.

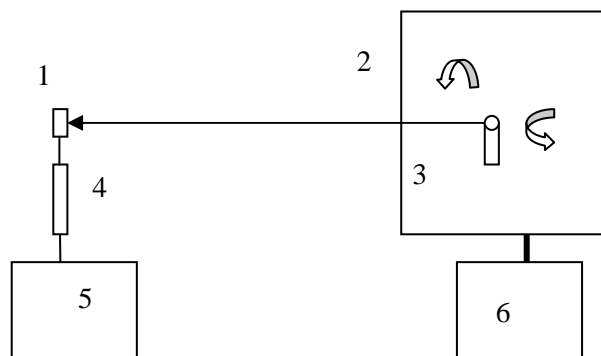


Рис. 1. - Схема климатической гониометрической установки для испытаний импульсных источников света

1 - фотометрическая головка фотометра цифрового ТЕС 0693; 2 – климатическая камера; 3 - источник импульсного излучения; 4 – многофункциональный прибор; 5 - ПК; 6 – устройство дистанционной установки углов.

Изменение уклонов наклона осуществляется дистанционно, без проникновения в климатическую камеру. Точность установки углов ± 2 град.

Вся электронная часть прибора сконцентрирована в отдельном блоке - цилиндрическом корпусе размером 15×75 мм. Внешний вид прибора представлен на рисунке 2.



Рис. 2. - Внешний вид многофункционального прибора.

1 - байонетный разъем, 2 – корпус,
3 - переключатель ток - напряжение, 4 - USB – разъем

При помощи байонетного разъема прибор подсоединяется к приемнику. В качестве приемника использована фотометрическая головки с байонетным разъемом для фотометра цифрового ТЕС 0693. Прибор подсоединяется к ПК при помощи USB – разъема. Регистрация осуществляется в 8 диапазонах – приблизительно 8 порядков измеряемой величины. В каждом диапазоне 1024 единицы АЦП. Измерения происходят с частотой 8200 Гц группами по 490. На самом чувствительном диапазоне одна единица АЦП соответствует $2,5 \cdot 10^{-12}$ А. Управление и регистрация осуществляется с ПК. Вид интерфейса программы представлен на рисунке 3.

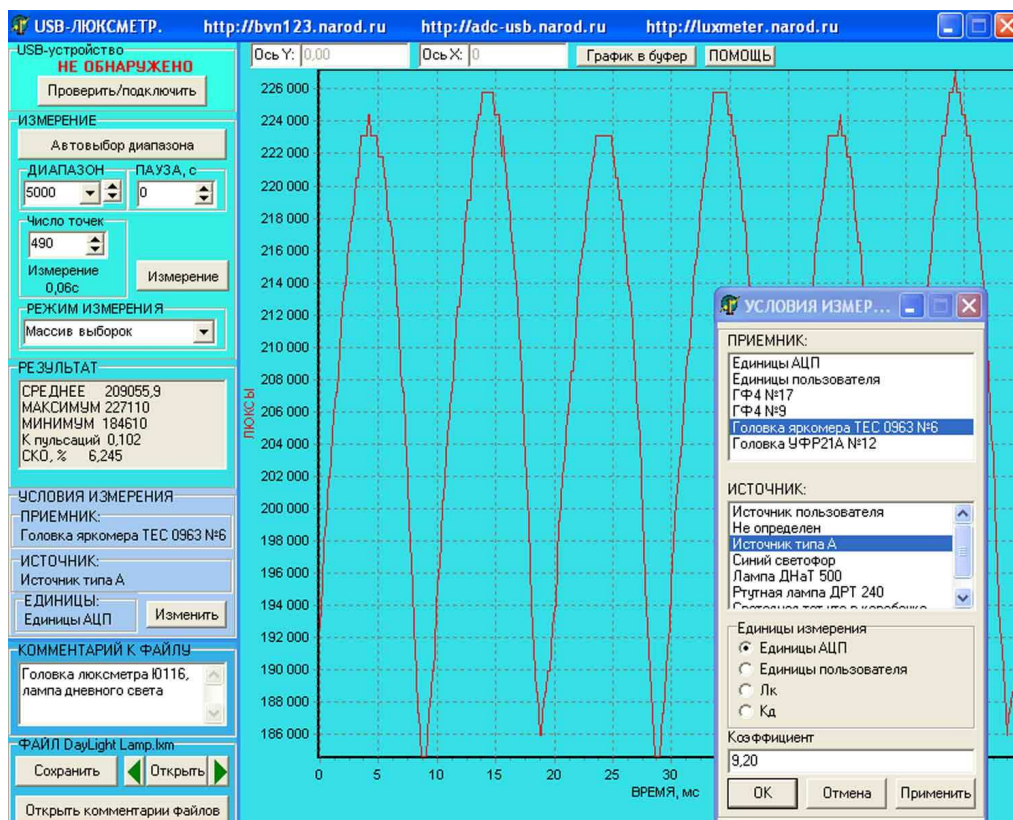


Рис. 3. - Вид интерфейса

Несколько панелей, размещенных слева от графика, обеспечивают выбор режима измерения, отображают результат и позволяют пользоваться ранее сделанными измерениями и комментариями к ним.

Нажатие кнопки **Автовыбор диапазона** вызывает автоматический поиск диапазона, соответствующего уровню сигнала. Поэтому первичный преобразователь, например, фотодиод, должен быть подключен к измерителю и должен находиться в условиях, в которых будет выполняться измерение. Поиск диапазона начинается с проверки уровня сигнала в самом грубом диапазоне (при самом низком усилении сигнала), если уровень сигнала слишком мал, выполняется переход на более чувствительный диапазон. Процесс повторяется, пока диапазон не окажется оптимальным, а при очень слабом сигнале – пока не будет достигнут самый чувствительный диапазон.

Процесс поиска диапазона можно наблюдать в окне **ДИАПАЗОН**. Время, необходимое для автоматического выбора диапазона – несколько секунд, поэтому при работе с быстропротекающими импульсными сигналами необходимо диапазон устанавливать самостоятельно. Возможно значительное изменение уровня измеряемого сигнала за время измерения. Это может вызвать как ограничение сигнала (уровень сигнала стал значительно выше), так и низкое разрешение (уровень сигнала уменьшился так, что его измерение лучше выполнять на более чувствительном диапазоне).

Диапазон можно выбрать вручную как из ниспадающего списка так и посредством перехода на соседний диапазон.

Панель **ПАУЗА**: доступна в режимах **Массив выборки** и **490 выборки** в память. Она позволяет организовать паузу между нажатием кнопки **Измерение** и началом измерения. Продолжительность паузы устанавливается в секундах. Пауза перед измерением может быть полезна, например, для выключения на время измерения освещения или монитора, создающих дополнительную засветку.

Панель **РЕЖИМЫ ИЗМЕРЕНИЯ**. Измеритель совместно с приложением обеспечивает 3 режима измерения сигнала.

1 режим. **Массив выборки**: При переходе данный режим можно определить число выборок в серии (до 32767-ми выборок). При выборе числа точек соответствующая их количеству продолжительность измерения отображается ниже в том же окне. По массиву выборок вычисляется результат измерения, отображаемый в окне **РЕЗУЛЬТАТ**.

2 режим. **490 выборки** в память аналогичен режиму **Массив выборки**, но выборки сначала записываются в память измерительного блока, а по окончании измерения весь массив передается в компьютер. Здесь отсутствует возможность выбора числа точек, но есть возможность снижения частоты выборок: при переходе в рассматриваемый режим появляется окно **ВРЕМЯ X**, в котором можно ввести множитель времени, определяющий продолжительность измерения. Увеличение продолжительности измерения происходит за счет пропорционального уменьшения частоты выборки. По массиву выборок вычисляются результаты измерения, отображаемые в окне **РЕЗУЛЬТАТ**.

3 режим. **Средние значения** в этом режиме появляется окно **ИНТЕРВАЛ**, с, в котором следует задать периодичность (в секундах), с которой на график в реальном времени будет выводиться среднее значение. Для вычисления каждого среднего значения микроконтроллер выполняет серию измерений в 490 выборок, передает массив в компьютер, приложение вычисляет среднее значение по массиву выборок и выводит вычисленное значение на график как одну точку.

При работе в режиме **Средние значения** информация в окно **РЕЗУЛЬТАТ** не выводится.

Выше кнопки **Измерение** индицируется последнее измеренное значение температуры.

Ниже расположена зона, позволяющая выбрать условия измерения. Выбирается тип измерений – измерение освещенности или силы света. Если на графике выделить диапазон времени, за которое происходит измерение, будет посчитан интеграл в соответствующих единицах измерения. При измерении силы света необходимо ввести в соответствующее окошко расстояние от источника излучения до люксметра в метрах.

Поскольку коррекция спектральной чувствительности прибора не идеальна, возникает спектральная погрешность, различная для излучения каждого спектра. Результаты измерений связаны с коэффициентом актичности. Этот коэффициент для источников, отличающихся от источника типа А, может существенно, на десятки процентов отличаться от единицы. Трудность учета состоит в том, что необходимая поправка к результатам измерения зависит не только от спектральных характеристик приемника, но и от спектральных характеристик источника излучения, которое регистрируется в данный момент. Регистрирующий прибор стенда позволяет вносить соответствующие поправки. Для приемника может быть введен список коэффициентов для выбранного типа источника излучения в соответствии с методикой, описанной в (8). Для коррекции измерений необходимо выбрать тип спектра источника освещения (например: синий светодиод), при этом прибор откорректирует результаты измерений, уменьшив погрешность измерения.

Результаты измерений могут быть сохранены в виде отдельного файла. Каждый файл может быть снабжен комментариями. Предусмотрена возможность просматривать измерения и комментарии к ним, производить поиск.

Примененный подход увеличивает значение градуировки и метрологического обеспечения для описанного прибора ввиду большого разнообразия функций. Необходимо обеспечить градуировку и метрологическое обеспечение для измерений освещенности и силы света. Первый этап градуировки – обеспечение соответствия измерений на разных диапазонах. Прибор подсоединяется к фотометрической головке, она устанавливается в плоскости, в которой при помощи светоизмерительной лампы СИС 107-500 в режиме источника типа А создается освещенность от 50 до 200 лк. Выбор освещенности производится таким образом, что бы показания прибора в единицах АЦП была около 1000 единиц. Определяется чувствительность на этом основном диапазоне. Выбор этого диапазона обусловлен требованиями (9). После этого при помощи уменьшения тока накала лампы добиваются показаний около 100 единиц АЦП. Переключают диапазон на более чувствительный и устанавливают связь чувствительностей между этими двумя диапазонами. Далее процедуру повторяют для следующих двух диапазонов. Для установления связи с менее чувствительными диапазонами производится за счет приближения к лампе и за счет фокусировки изображения лампы на входной диафрагме прибора. Поскольку устанавливается соответствие коэффициентов для токов, то изменения спектрального состава излучения не влияют на результат градуировки. После этого фотометрическую головку устанавливают перед источником излучения именно такого спектра, при котором будут в дальнейшем проводиться измерения. Методом компарирования с люксметром в ранге рабочего эталона определяется чувствительность к освещенности для данного типа источника. Если планируется проводить измерения источников нескольких типов, то определяются чувствительности ко всем типам источников. Сила света (I) рассчитывается по освещенности (E) и по расстоянию (L) в соответствии с формулой

$I = E \times L^2$. Расстояние порядка 1 м измеряется с помощью микроскопа и нониусной шкалы. Погрешность измерения расстояния менее 0,5%.

Используя коэффициенты связи чувствительности каналов и чувствительность в основном диапазоне рассчитываются чувствительности прибора к освещенности и к силе света во всех диапазонах. Окончательно погрешность измерений рассчитывалась с учетом статистической погрешности определения чувствительности, погрешности переключения диапазонов и погрешности установки, на которой проводилась градуировка. Погрешность спектральной коррекции приемника при описанном подходе отсутствует, точнее он входит в погрешность установки, на которой проводилась градуировка. Погрешность измерения силы света формально больше, чем погрешность измерения освещенности, однако, для достигнутой точности измерений расстояния она практически совпадают. Погрешности, обусловленные зависимостью температурного изменения чувствительности и обусловленные отличием приемной диаграммы чувствительности от косинусной в окончательный результат не включены. Очевидно, что наиболее точная градуировка обеспечивается в основном диапазоне (основная абсолютная погрешность измерений - около 4 %), наименее точная - в наиболее и наименее чувствительном диапазонах (8%). Погрешности определения средней силы света зависят от длительности измеряемого импульса. Если в импульсе произведено более ста измерений, что соответствует длительности порядка 0,1 с, то погрешностью вычисления средней силы света можно пренебречь. Для более коротких импульсов ее следует учитывать.

Типичный вид регистрограммы сигнала импульсного маячка представлен на рисунке 4.

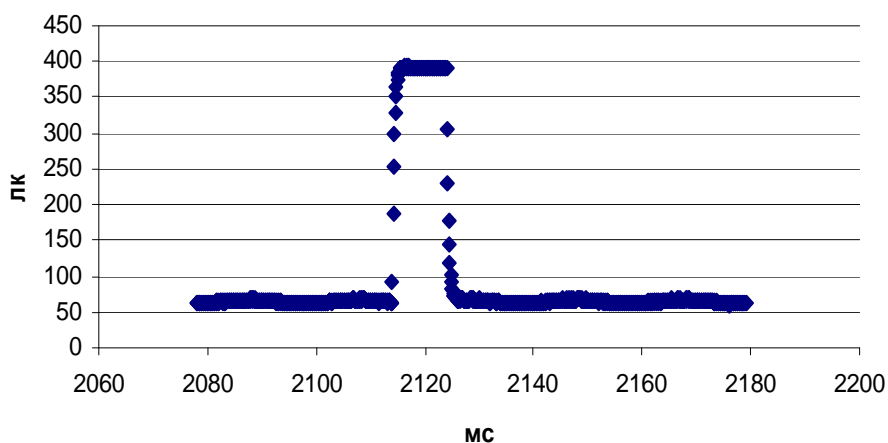


Рис. 4. - Типичный вид регистрограммы сигнала импульсного маячка

Проведена метрологическая аттестация стенда. Диапазон измерений силы света импульсного излучения от 0,1 кд до 100 кд. Диапазон температур от -45 °С до + 60 °С, погрешность измерения ± 2 °С. Погрешность выставления углов по двум взаимно перпендикулярным осям в пределах от 0 до 360 град и от 0 до 90 градусов составляет ± 2 град. Случайная относительная погрешность измерений освещенности от источника непрерывного излучения типа А при комнатной температуре составила $\pm 0,5$ %. Качество спектральной коррекции приемника оценено по ОСТ 16.0.800.814 и составило 3%. Основная относительная погрешность измерений импульсной силы света составила 12 %.

Представляется, что описанный стенд позволит в некоторой степени удовлетворить существующую потребность в климатических и гониометрических измерениях периодических и импульсных излучений.

Литература

1. ДСТУ 3394–96 Державна повірочна схема для засобів вимірювань світлових величин.
2. Освітлення школьних приміщень. Р.В.Пилипчук. СвітлоLux, 2007, №.5, с. 49-51.
3. ДБН В.2.5-28-2006, Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.
4. СНиП II-4-49. Строительные нормы и правила. Естественное и искусственное освещение.
5. Баранов В.Н., Кожушко Г.М., Купко А.Д. Малогабаритный многофункциональный люксметр. СвітлоLux, 2007, №4, с. 35-38.
6. Каталог продукции ОАО «ЦКБ РИТМ»
7. ДСТУ 3651.1-97 „Похідні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці”
8. Демиденко Л.В., Еремеева О.К., Карпова Л.Г. Калиниченко В.А. Купко А.Д. Спектральные поправки при измерении параметров УФ излучения источников медицинского назначения приборами отечественного производства; Український метрологічний журнал. Вип.1 .- 2007.- стр.20-25.
9. ДСТУ «Метрологія. Люксметри фотоелектричні. Методика повірки (калібрування)».

КЛІМАТИЧНИЙ ГОНІОМЕТРИЧНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ІМПУЛЬСНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

В. М. Баранов, О. Д. Купко, С. В. Чирков, В. І. Коваленко

Створений кліматичний гоніометричний стенд для випробувань імпульсних джерел світла. Розглянуті похибки вимірювань.

CLIMATIC GONIOMETER FOR TESTS OF IMPULSIVE SOURCES OF LIGHT

V. N. Baranov, A. D. Kupko, S. V. Chirkov, V. I. Kovalenko

A climatic goniometer is created for the tests of impulsive sources of light. The errors of measurings are considered.